

PAT-NO: JP407005070A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07005070 A

TITLE: NOISE FIGURE CALCULATION METHOD AND MEASURING INSTRUMENT

PUBN-DATE: January 10, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

MASUDA, KOJI

AIDA, KAZUO

NAKAGAWA, SEIJI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

N/A

APPL-NO: JP05147706

APPL-DATE: June 18, 1993

INT-CL (IPC): G01M011/00, H03F003/08

ABSTRACT:

PURPOSE: To accurately obtain noise figure a simple arithmetic operation, in a method for calculating noise figure and an instrument for measuring noise figure to obtain the noise figure of an optical amplifier.

CONSTITUTION: In the method for calculating noise figure for obtaining noise figure  $F^*$  regarding a light amplifier which amplifies signal light with a wavelength of  $\lambda_S$  using a gain  $G^*$  in units of decibel and generates natural release light with an intensity  $P^*ASE(\lambda_C)$  in decibel units to a wavelength band where the wavelength  $\lambda_C$  ( $\neq \lambda_S$ ) is a center

wavelength, an approximation operation means for obtaining the approximate value of the noise figure  $F^*$  by performing an arithmetic operation according to an expression  $F^* \approx P \cdot ASE(\lambda; C) + A + B \cdot G^*$  which is obtained by applying a constant A and a coefficient B obtained in advance based on the known values of the gain, intensity, and noise figure is provided for the noise figure  $F^*$  which is approximated using the equation of the first degree of gain  $G^*$  and intensity  $P \cdot ASE(\lambda; C)$ .

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-5070

(43) 公開日 平成7年(1995)1月10日

(51) Int.Cl. <sup>a</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 11/00	T	9309-2G		
H 0 3 F 3/08		7436-5J		

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全12頁)

(21) 出願番号 特願平5-147706

(22) 出願日 平成5年(1993)6月18日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 増田 浩次

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 相田 一夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 中川 清司

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

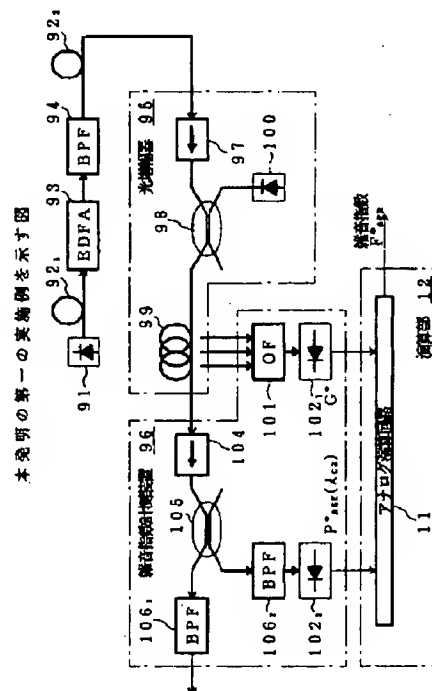
(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

(54) 【発明の名称】 雑音指数算出方法および雑音指数計測装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、光増幅器の雑音指数を得る雑音指数演算方法および雑音指数計測装置に関し、簡単な算術演算により精度よく雑音指数を得ることを目的とする。

【構成】 デシベル単位の利得 $G^*$ で波長 $\lambda_s$ の信号光を増幅し、かつ波長 $\lambda_c(\neq \lambda_s)$ を中心波長とする波長帯域にデシベル単位の強度 $P_{ASE}(\lambda_c)$ で自然放光を発生する光増幅器について、雑音指数 $F^*$ を求める雑音指数算出方法において、利得 $G^*$ および強度 $P_{ASE}(\lambda_c)$ の一次式で近似される雑音指数 $F^*$ について、これらの利得、強度および雑音指数の既知の値に基づいて予め求められた定数 $A$ および係数 $B$ を適用して得られる $F^* \approx P_{ASE}(\lambda_c) + A + B \cdot G^*$ の式による算術演算を行い、雑音指数 $F^*$ の近似値を得る近似演算手段を備えて構成される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 デシベル単位の利得 $G^*$ で波長 $\lambda_s$ の信号光を増幅し、かつ波長 $\lambda_c$ ( $\neq \lambda_s$ )を中心波長とする波長帯域にデシベル単位の強度 $P^*_{ASE}(\lambda_c)$ で自然放出光を発生する光増幅器について、雑音指数 $F^*$ を求める雑音指数算出方法において、

前記利得 $G^*$ および前記強度 $P^*_{ASE}(\lambda_c)$ の一次式で近似される雑音指数 $F^*$ について、これらの利得、強度および雑音指数の既知の値に基づいて予め求められた定数 $A$ および係数 $B$ を適用して得られる

$$F^* \approx P^*_{ASE}(\lambda_c) + A + B \cdot G^*$$

の式による算術演算を行い、前記雑音指数 $F^*$ の近似値を得る近似演算手段を備えたことを特徴とした雑音指数算出方法。

【請求項2】 デシベル単位の利得 $G^*$ で波長 $\lambda_s$ の信号光を増幅する光増幅器の雑音指数 $F^*$ を求める雑音指数計測装置において、

前記光増幅器の稼働状態を監視し、その監視の結果に基づいて前記利得 $G^*$ を検出する利得検出手段と、

前記光増幅器から出射される自然放出光の内、波長 $\lambda_c$ ( $\neq \lambda_s$ )を中心波長とする波長帯域の自然放出光を抽出し、その自然放出光のデシベル単位の強度 $P^*_{ASE}(\lambda_c)$ を検出する強度検出手段と、

前記利得検出手段によって検出された利得 $G^*$ と前記強度検出手段によって検出された強度 $P^*_{ASE}(\lambda_c)$ とに、請求項1に記載の発明に基づく算術演算を施して前記雑音指数 $F^*$ の近似値を得る近似演算手段とを備えたことを特徴とする雑音指数計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光増幅器の雑音指数を得る雑音指数算出方法および雑音指数計測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】エルビウム添加ファイバをレーザ光その他でポンピングして増幅作用を得る光増幅器では、一般に、入射される信号光のショット雑音と、その信号光と共に入射される自然放出光(以下、「ASE光」という。)との間のビート雑音が出力端に得られる雑音エネルギーの大半を占めるものとして扱うことができる。

【0003】図9は、従来の雑音指数計測装置の構成例を示す図である。図において、信号光源である分布帰還型のレーザダイオード91の出力は伝送ファイバ92<sub>1</sub>を介して一段目の光増幅器(EDFA)93の入力に接続され、その出力は光フィルタ(BPF)94および伝送ファイバ92<sub>2</sub>を介して雑音指数の測定対象となる二段目の光増幅器95の入力に接続される。光増幅器95の出力は雑音指数計測装置96を介して後段に接続される。

【0004】光増幅器95では、その入力端は従属接続

2

された光アイソレータ97、ファイバカプラ98およびエルビウム添加ファイバ99を介して出力端に接続される。なお、エルビウム添加ファイバ99は、エルビウムに併せてアルミニウム化合物 $Al_2O_3$ を添加して構成される。ファイバカプラ98の第一の合成入力にはレーザダイオード100が光学的に結合され、エルビウム添加ファイバ99は雑音指数計測装置96に光学的に結合される。

【0005】雑音指数計測装置96では、光フィルタ(OF)101を介してフォトダイオード102<sub>1</sub>がエルビウム添加ファイバ99に光学的に結合し、そのフォトダイオード102<sub>1</sub>は演算部103の一方の入力に電気的に接続される。エルビウム添加ファイバ99の出力端は、従属接続された光アイソレータ104、ファイバモニタ105および光フィルタ(BPF)106<sub>1</sub>を介して後段に接続される。ファイバモニタ105の第一の分岐出力は光フィルタ(BPF)106<sub>2</sub>を介してフォトダイオード102<sub>2</sub>に光学的に結合する。なお、光フィルタ106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>は、ガラス板に誘電体多層膜を蒸着して構成され、フォトダイオード102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>は長波帯に適合したInGaAs化合物半導体を用いて構成される。フォトダイオード102<sub>2</sub>は演算部103の他方の入力に電気的に接続され、その出力には雑音指数 $F^*_{APR}$ が得られる。

【0006】演算部103では、フォトダイオード102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>の出力はそれぞれA/D変換器107<sub>1</sub>、107<sub>2</sub>を介してデジタル演算回路108の対応した入力に接続され、その出力にはD/A変換器109を介して上述した雑音指数が得られる。

【0007】このような構成の雑音指数計測装置では、信号光源であるレーザダイオード91から出射された所定波長 $\lambda_s$ ( $=1.5515\mu m$ )の信号光は、伝送ファイバ92<sub>1</sub>を介して一定の減衰を受け、規定のレベル( $=-15dB$ )で光増幅器93に与えられる。光増幅器93は、このようにして与えられる信号光を所定の利得( $=24.9dB$ )で増幅する。光フィルタ94は、中心波長が信号光の波長 $\lambda_s$ に等しく透過半値幅がその信号光の主要エネルギーを通過させる値( $=2.7nm$ )に設定され、光増幅器93によって増幅された信号光を取り込み、ASE光の成分を減衰させることによりそのASE光と信号光との間のビート雑音を抑圧して伝送ファイバ92<sub>2</sub>を介し光増幅器95に与える。

【0008】光増幅器95では、アイソレータ97を介して与えられる信号光は、レーザダイオード100から出射される所定波長( $=0.98\mu m$ )の励起光とファイバカプラ98を介して合波され、図10(a)に示すように、光フィルタ94を通過して与えられる伝搬ASE光の成分と共に利得媒質であるエルビウム添加ファイバ99に与えられる。なお、図10では、縦軸の光のパワーレベルについては、簡単のためエルビウム添加ファイバ

3

99の出力に得られる信号光のパワーレベルで正規化して示す。

【0009】エルビウム添加ファイバ99は上述した励起光によってポンピングされて信号光を増幅し、その出力端には、図10(b)に示すように、増幅された信号光および伝搬ASE光に併せて、エルビウム添加ファイバ99で新たに発生した発生ASE光の成分が得られる。

【0010】雑音指数計測装置96では、光フィルタ101は、高波長域透過特性を有し、エルビウム添加ファイバ99から外部に放射されるASE光(その主要な波長成分は約3nmの近傍に分布する。)から上述した励起光の波長(=0.98μm)の成分を除去する。フォトダイオード102<sub>1</sub>は、このようにして光フィルタ101を介して得られるASE光のパワーを光-電気変換することにより取得して演算部103に与える。

【0011】一方、光アイソレータ104の入力端には、エルビウム添加ファイバ99から図10(b)に示す信号光、伝搬ASE光および発生ASE光に併せて、上述した励起光が与えられる。しかし、このような励起光の成分については、その一部が既にファイバコア98で吸収され、さらに、光アイソレータ104を通過する際にはほぼ完全に吸収される。したがって、ファイバモニタ105は、信号光、伝搬ASE光および発生ASE光を所定の比率(=20:1)で分岐させる。

【0012】光フィルタ106<sub>1</sub>は、図11(a)に示すように、信号光の波長λ<sub>s</sub>(=1.5515μm)に透過域の中心が設定された帯域透過特性を有し、その信号光の成分を透過させると共に、伝搬ASE光および発生ASE光の成分を抑圧して後段に与える。

【0013】また、光フィルタ106<sub>2</sub>は、図11(b)に示すように、信号光の波長λ<sub>s</sub>の近傍の波長λ<sub>c2</sub>(=1.542μm<λ<sub>s</sub>)に透過域の中心が設定された帯域透過特性(透過半値幅=1.5nm)を有し、光フィルタ10\*

$$F^* \equiv F^*_{PRE} \equiv 10 \log \left\{ \frac{10^{(-C/10)} P_{ASE}(\lambda_{c2})}{h \nu \Delta \nu G} + \frac{1}{G} \right\}$$

$$F^*_{PRE} = 10 \log \left\{ K_1 \cdot \frac{P_{ASE}(\lambda_{c2})}{G} + \frac{1}{G} \right\} \dots (3)$$

$$K_1 \equiv \frac{10^{(-C/10)}}{h \nu \Delta \nu}$$

【0020】の式に示す算術演算を行うことにより、デシベル単位の近似雑音指数F\*<sub>PRE</sub>を求める。なお、上式(2)、(3)に示すP<sub>ASE</sub>(λ<sub>c2</sub>)の値については、A/D変換器107<sub>2</sub>を介してフォトダイオード102<sub>2</sub>の出力をデジタル変換することにより得られる。

【0021】また、このようにして求められた近似雑音指数F\*<sub>PRE</sub>の値(図12①)には、エルビウム添加ファ※

$$\Delta P = F^*_{PRE} - F^* = P_{ASE}(\lambda_{c2}) - P_{ASE}(\lambda_s) \dots (4)$$

の式で与えられ、図13に太線で示すようにデシベル単位の利得G\*に応じて変動する。

【0022】

4

\*6<sub>1</sub>とは反対に発生ASE光の成分を透過させて信号光の成分を抑圧する(図10(c))。なお、伝搬ASE光については、図10(b)に示すように、光フィルタ106<sub>2</sub>の透過域では発生ASE光に対して40dB程度小さなレベルとなるので、無視される。

【0014】フォトダイオード102<sub>2</sub>は、このようにして光フィルタ106<sub>2</sub>を透過した発生ASE光のパワーP<sub>ASE</sub>(λ<sub>c2</sub>)を光-電気変換することにより取得して演算部103に与える。

【0015】演算部103では、A/D変換器107<sub>1</sub>はフォトダイオード102<sub>1</sub>を介して得られたASE光のパワーレベルをデジタル変換し、デジタル演算回路108はこのようにしてデジタル変換されたASE光のパワーレベルに、例えば、特願平3-131326号や特願平5-53430号に開示された演算を施すことにより、エルビウム添加ファイバ99の利得G(>1)を算出する。

【0016】さらに、デジタル演算回路108では、一般に、信号光の波長λ<sub>s</sub>における発生ASE光のパワーP<sub>ASE</sub>(λ<sub>s</sub>)、信号光の周波数ν、発生ASE光のパワーの周波数軸上の分布幅Δνおよびプランク定数hに対して光増幅器95の雑音指数Fを与える

【0017】

【数1】

$$F = \frac{P_{ASE}(\lambda_s)}{h \nu \Delta \nu G} + \frac{1}{G} \dots (1)$$

【0018】の式に、予め決められた定数C(<0)を用いて波長λ<sub>s</sub>に近傍の波長λ<sub>c2</sub>との間に成立する

$$P_{ASE}(\lambda_s) \approx P_{ASE}(\lambda_{c2}) \cdot 10^{(-C/10)} \dots (2)$$

の近似式を代入して両辺の対数をとることにより得られる

【0019】

【数2】

40※イバ99に固有の利得Gの飽和特性とその特性に付随する利得Gの変動分に対する発生ASE光のレベル変動とに起因して、上式(1)によって与えられるデシベル単位の雑音指数F\*の真値(図12②)との間に信号光パワーレベルに応じて変動する誤差ΔPが生じる。このような誤差は、上式(1)、(3)から

★【発明が解決しようとする課題】ところで、このような従来の雑音指数計測装置では、演算部103が行う算術

★50 演算の内容が上式(3)に示されるように複雑であるにも

5

かわらず、その演算によって求められる近似雑音指数  $F^*_{PRE}$  に含まれる誤差  $\Delta P$  は、上式(2) に示す近似に基づいて上式(4) が

$$\Delta P = C \quad \dots (4)$$

と変形されるように一定値と見なされ、図13に示す利得  $G^*$  に応じた依存性が無視されていたために、信号光パワーレベルの変動に応じて大きな値になる場合があった。

【0023】また、このような誤差  $\Delta P$  の利得  $G^*$  に対する変動分を低減する方法としては、光フィルタ106<sub>2</sub>の透過域の中心となる波長  $\lambda_{c2}$  を信号光の波長  $\lambda_s$  に近い値に設定する方法がある。しかし、このような方法は、光フィルタ106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>の出力端における信号光と発生ASE光とのレベル差を所定の下限値以上とするためには、これらの光フィルタの選択透過性を急峻に設定しなければならず、実際には技術的な限界やコスト面の制約から適用できない場合が多かった。

【0024】本発明は、簡単な算術演算により精度よく雑音指数を得る雑音指数算出方法および雑音指数計測装置を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明では、デシベル単位の利得  $G^*$  で波長  $\lambda_s$  の信号光を増幅し、かつ波長  $\lambda_c$  ( $\neq \lambda_s$ ) を中心波長とする波長帯域にデシベル単位の強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  で自然放出光を発生する光増幅器について、雑音指数  $F^*$  を求める雑音指数算出方法において、利得  $G^*$  および強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  の一次式で近似される雑音指数  $F^*$  について、これらの利得、強度および雑音指数の既知の値に基づいて予め求められた定数  $A$  および係数  $B$  を適用して得られる  $F^* \approx P^*_{ASE}(\lambda_c) + A + B \cdot G^*$  の式による算術演算を行い、雑音指数  $F^*$  の近似値を得る近似演算手段を備えたことを特徴とする。

【0026】請求項2に記載の発明では、デシベル単位の利得  $G^*$  で波長  $\lambda_s$  の信号光を増幅する光増幅器の稼働状態を監視し、その監視の結果に基づいて利得  $G^*$  を検出する利得検出手段と、光増幅器から出射される自然放出光の内、波長  $\lambda_c$  ( $\neq \lambda_s$ ) を中心波長とする波長帯域の自然放出光を抽出し、その自然放出光のデシベル単位の強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  を検出する強度検出手段と、利得検出手段によって検出された利得  $G^*$  と強度検出手段によって検出された強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  とに、請求項1に記載の発明に基づく算術演算を施して雑音指数  $F^*$  の近似値を得る近似演算手段とを備えたことを特徴とする。

【0027】

\*

$$F^* \approx F^*_1 \approx K + P^*_{ASE}(\lambda_s) - G^* + \left\{ \frac{F \cdot \log_e(10)}{10} \cdot \frac{1}{G} \right\} \dots (5)$$

$$K \equiv -10 \log_{10}(h \nu \Delta \nu)$$

6

\*【作用】請求項1に記載の雑音指数算出方法では、近似演算手段が、利得  $G^*$  および強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  に対する一次式

$$F^* \approx P^*_{ASE}(\lambda_c) + A + B \cdot G^*$$

で雑音指数  $F^*$  を近似し、その式に既知の強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$ 、利得  $G^*$  および雑音指数  $F^*$  に基づいて予

め求められた定数  $A$  および係数  $B$  を適用して算術演算を行うことにより、雑音指数  $F^*$  の近似値を算出する。

【0028】このような近似値には、光増幅器に固有の利得  $G^*$  の飽和特性とその特性に付随する利得  $G^*$  の変動分に応じた自然放出光のレベルの変動とに起因する誤差  $\Delta P$  が含まれる。しかし、上式はこのような誤差  $\Delta P$  の利得  $G^*$  に応じた変動分を直線近似して得られたものであるため、その変動分を一定値と見なしていた従来の雑音指数算出方法に比べて近似の精度が高められ、かつ複雑な関数演算を含まないので演算処理が簡略化される。

【0029】請求項2に記載の雑音指数計測装置では、近似演算手段は、利得検出手段によって検出された利得  $G^*$  と強度検出手段によって検出された強度  $P^*_{ASE}(\lambda_c)$  とを取り込み、これらの値から請求項1に記載の発明に基づく算術演算を行って雑音指数  $F^*$  の近似値を求める。

【0030】したがって、従来例に比べて演算処理の内容を簡略化しつつ上述した近似値に含まれる誤差  $\Delta P$  の利得  $G^*$  に対する変動分を抑圧して計測精度が高められるので、強度検出手段では、自然放出光を抽出する光学的な選択透過特性の急峻性が従来例に比べて小さな値に設定可能となり、かつ近似演算手段では、その手段を構成するハードウェアやソフトウェアの規模が低減される。

【0031】

【実施例】以下、図面に基づいて本発明の実施例について詳細に説明する。図1は、本発明の第一の実施例を示す図である。

【0032】図において、図9に示すものと構成が同じものについては、同じ参照番号を付与して示し、ここではその説明を省略する。本発明の特徴とする構成は、本実施例では、演算部103に代えてアナログ演算回路11からなる演算部12を備えた点にある。

【0033】以下、本実施例の動作を説明する。上式(1)は、その両辺の対数をとって雑音指数  $F$ 、信号光の波長  $\lambda_s$  における発生ASE光のパワー  $P_{ASE}(\lambda_s)$  および利得  $G$  の単位をそれぞれデシベルに変換した  $F^*$ 、 $P^*_{ASE}(\lambda_s)$ 、 $G^*$  によって

【0034】

【数3】

7

【0035】の近似式に変換される。一方、従来例における誤差 $\Delta P$ の利得 $G^*$ に対する依存性に着目すると、図13に示される誤差 $\Delta P$ の曲線とその曲線の接線との差分を示す $\text{Func}(G)$ 、その接線の縦軸の図示されない切\*

$$P_{\text{ASE}}^*(\lambda_s) = P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) - \Delta P \\ = P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2})$$

$$- \{a + b G^* + \frac{F \cdot \log_e 10}{10 \cdot G^*}\} + \text{Func}(G) \quad \dots (6)$$

【0037】の関係式が成立する。したがって、上式

(5) に上式(6)を代入することにより、雑音指数 $F^*$ の

新たな近似値 $F^*_{\text{APR}}$ は、

$$F^* \approx F^*_{\text{APR}} \equiv K + P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) - a - (1+b) G^* - \text{Func}(G) \\ = K_2 + P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) - K_3 \cdot G^* - \text{Func}(G) \quad \dots (7) \\ K_2 = K - a, \quad K_3 = 1 + b$$

【0039】の近似式で与えられるが、さらに、上述した差分 $\text{Func}(G)$ を無視すると、

$$F^*_{\text{APR}} \approx K_2 + P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) - K_3 \cdot G^* \quad \dots (7)'$$

の式で与えられる。

【0040】また、利得 $G^*$ は、エルビウム添加ファイバ99から出射される自然放光光に応じてフォトダイオード102<sub>1</sub>から出力される光電流 $I_{\text{ph}}$ およびそのフォトダイオードに固有の定数 $c$ 、 $d$ に対して

$$G^* = c + d I_{\text{ph}} \quad \dots (8)$$

の式で与えられる。さらに、フォトダイオード102<sub>2</sub>

に受光される発生ASE光のパワーレベル $P$

$$F^*_{\text{APR}} \approx P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) + \alpha - \beta \cdot I_{\text{ph}} \quad \star$$

$$\alpha \equiv K - J - a - c(1+b), \quad \beta \equiv d(1+b) \quad \dots (10)$$

【0043】の式で与えられる。また、このような定係数 $\alpha$ 、 $\beta$ については、上述した差分 $\text{Func}(G)$ を無視した

場合には、予め実測により取得された2通りの $F^*_{\text{APR}}$ 、 $P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2})$ および $I_{\text{ph}}$ の各値を上式(10)に代入することにより、未知数として算出される。

【0044】アナログ演算回路11は、フォトダイオード102<sub>1</sub>によって実測される光電流 $I_{\text{ph}}$ と、フォトダイオード102<sub>2</sub>によって実測される発生ASE光のパワーレベル $P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2})$ とを取り込み、これらの値と上述したように予め求められた定係数 $\alpha$ 、 $\beta$ に基づいて上式(10)に示す算術演算を行うことにより、雑音指数 $F^*_{\text{APR}}$ を求める。

【0045】ところで、このような近似により得られる雑音指数 $F^*_{\text{APR}}$ の誤差 $\Delta P$ については、上式(5)に示すように、信号光の波長 $\lambda_s$ における発生ASE光のパワー $P_{\text{ASE}}(\lambda_s)$ に代えて、波長 $\lambda_{c2}$ における発生ASE光のパワー $P_{\text{ASE}}(\lambda_{c2})$ を用いたことに起因する誤差 $\Delta P$ に着目すると、図2に実線で示される計算値と、▲印、○印、□印(それぞれエルビウム添加ファイバ99に与えられる励起光のパワーレベル $P_p$ が10mW、20mW、30mWの値をとる場合に対応する。)で示される実測値とで示されるように、上式(6)は利得 $G^*$ の値の☆50

8

\*片aおよび接線の傾きbを上式(4)に代入することにより、

【0036】

【数4】

※【0038】

【数5】

★ $P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2})$ は、エルビウム添加ファイバ99の出力端から光アイソレータ104、ファイバモニタ105および光フィルタ106<sub>2</sub>を介してフォトダイオード102<sub>2</sub>に至る光学的な損失(単位はデシベル)J(<0)に対して、

$$P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) = P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2}) + J \quad \dots (9)$$

の式で与えられる。

【0041】したがって、上式(7)'に示す近似値 $F^*$

$F^*_{\text{APR}}$ は、同式に上式(8)、(9)を代入することにより

【0042】

【数6】

☆広い範囲で成立する。なお、図2では、誤差 $\Delta P$ は、その最大値を0dBmに正規化して示す。また、上式(7)から求められる雑音指数 $F^*_{\text{APR}}$ は入力信号光パワーレベルおよび上述した励起光のパワーレベル $P_p$ に対して図3に示されるように推移するが、その雑音指数と上式(1)から求められる雑音指数の真値 $F^*$ との差 $\Delta F$ は、図4に示すように、入力信号光のパワーに対して-0.06~+0.03dBと小さな値をとり、エルビウム添加ファイバ99の広い動作範囲で高い精度が確保される。

【0046】さらに、このような本実施例の精度については、図5(a)に示す正確な実測値(J.Aspe et al; Optical Fiber Communication Conference, ThA4, pp189-190, 1992に記載された方法による。)を基準として図5(b)に示す従来例における実測値と対比すると、本実施例において励起光のパワーレベル $P_p$ が20mWの場合に最小二乗法適用して求められる定係数 $\alpha$ (=89.453dB)および $\beta$ (=0.22266dB/nA)と、実測される発生ASE光のパワーレベル $P_{\text{ASE}}^*(\lambda_{c2})$ (=-57.2dBm~-42.1dBm)と、さらに、同様にして実測される光電流 $I_p$ (=120nA~198nA)とによって上式(10)から算出される雑音指数 $F^*_{\text{APR}}$ は、図5(c)に示すように、-0.06dB~+0.07dBの差がある。しかし、このような差は、図5

(b) に示す従来例による実測値と図5(a) に示す実測値との差 ( $-0.7\text{dB} \sim +0.06\text{dB}$ ) に比べて大幅に小さな値となる。

【0047】また、本実施例によって得られる雑音指数  $F^*_{APR}$  の精度は、8時間以内の同じ条件下における計測の結果に比べると、わずかに  $\pm 0.03\text{dB}$  と極めて安定である。このように本実施例によれば、図13に示すように、光増幅器95の利得  $G^*$  に応じて非直線的に推移する誤差  $\Delta P$  の値を直線近似して得られる上式(7)'、(10)を用いることにより、その式に示す算術演算を行う演算部12を従来例の演算部103に比べて大幅に簡単な構成とし、かつ確実に高い精度が得られる。

【0048】図6は、本発明の第二の実施例を示す図である。本実施例と図1に示す実施例との構成上の相違点は、レーザダイオード91に代えて出射されるレーザ光の波長が  $1.300\mu\text{m}$  の分布帰還型のレーザダイオード60を備え、光増幅器93に代えて半導体レーザ増幅器(SLA)61を備え、ファイバカプラ98およびエルビウム添加ファイバ99に代えて半導体レーザ増幅器62(SLA)を備え、レーザダイオード100に代えて電流駆動回路63を備えた点にある。

【0049】なお、本実施例は、レーザダイオード60から出射されるレーザ光の波長 ( $=1.300\mu\text{m}$ ) に対応させて、フォトダイオード102<sub>1</sub> に受光直径が1mmのものを採用し、光フィルタ106<sub>1</sub> に透過半値幅が3nmのものを採用し、光フィルタ106<sub>2</sub> に透過半値幅が2nmであって透過波長域の中心  $\lambda_{c2}$  が  $1.285\mu\text{m}$  であるものを採用した点でも図1に示す実施例と異なるが、これらのフォトダイオードおよび光フィルタについては、簡単のため、同じ参照番号を付与して示す。さらに、半導体レーザ増幅器62には、駆動電流の値が100mAであるときに25dBの未飽和利得を有するものを採用する。

【0050】本実施例では、アナログ演算回路11は図1に示す実施例と同様の演算を行って雑音指数の近似値  $F^*_{APR}$  を求めるので、その近似値(図7①)の入力信号光のパワーに依存した変動幅は、同図に示す真値(図7②)を基準とすると、 $-0.6\text{dB} \sim +0.4\text{dB}$  の相対値をとっていた従来例の実測値(図7③)に比べて $-0.1\text{dB} \sim +0.1\text{dB}$  程度と大幅に軽減される。

【0051】図8は、本発明の第三の実施例を示す図である。本実施例と図1に示す実施例との構成上の相違点は、エルビウム添加ファイバ99と光アイソレータ104との間にファイバカプラ81を配置し、フォトダイオード102<sub>1</sub> にはファイバカプラ81を介して分岐された励起光を与え、レーザダイオード100に光学的に結合したフォトダイオード82を付加し、さらに、フォトダイオード102<sub>1</sub>、82の出力を並列に演算部12の対応する入力に接続した点にある。

【0052】本実施例では、エルビウム添加ファイバ9

9の利得  $G^*$  の求め方のみに特徴があり、その利得に応じて雑音指数を求める算術演算の内容については、図1に示す実施例と全く同じであるから、以下ではその説明を省略する。

【0053】フォトダイオード82はレーザダイオード100から出射される励起光のパワーレベルを検出し、フォトダイオード102<sub>1</sub> はファイバカプラ81を介してエルビウム添加ファイバ99を通過した励起光のパワーレベルを検出する。演算部12は、このようにしてフォトダイオード82、102<sub>1</sub> から個別に励起光のパワーレベルに応じて出力される光電流の差分に基づいてエルビウム添加ファイバ99の励起光に対する損失  $L_p$  を求める。さらに、演算部12は、このような損失  $L_p$  に特願平4-12989号や特願平4-91218号に開示された処理を施すことにより、定数  $e$ 、 $f$  に対して  $G^* = e + f \cdot L_p$

の式で与えられる利得  $G^*$  を求める。

【0054】したがって、本実施例によれば、図1に示す実施例と同等の精度および再現性で雑音指数  $F^*_{APR}$  が求められる。なお、上述した各実施例では、近似式(7)'の近似式については、既知の値を複数の組合せで代入することにより未知数として係数および定数項の値を求めたが、本発明では、このような方法に限定されず、例えば、最小二乗法その他の方法を用いて求めてもよい。

【0055】さらに、上述した各実施例では、近似式(7)の  $\text{Func}(G)$  項については、無視されるものとして扱われているが、本発明は、このような方法に限定されず、例えば、コンピュータシミュレーションその他の手法を用いてその項が簡単な算術演算により近似でき、かつその近似に必要な係数や定数が予め確実に取得できるならば、雑音指数を求める近似式に含めてもよい。

【0056】

【本発明の効果】以上説明したように本発明では、光増幅器に固有の利得  $G^*$  の飽和特性と、その特性に付随する利得  $G^*$  の変動分に応じた自然放出光の放出レベルの変動とによる誤差  $\Delta P$  の利得  $G^*$  に対する変動分を直線近似し、その近似によって得られた近似式に、利得  $G^*$  と光増幅器から放出される自然放出光の強度  $P$

$A_{SE}(\lambda_c)$  との実測値を代入してその光増幅器の雑音指数の近似値を算出する。

【0057】このような近似式に基づく算術演算は、上述した変動分を一定値と見なしていた従来例に比べて近似の精度が高く、かつ複雑な関数演算を含まないので演算処理が簡略化される。

【0058】すなわち、上述した近似値の誤差  $\Delta P$  の利得  $G^*$  に対する変動分を抑圧して計測精度が高められるので、強度検出手段に自然放出光を抽出する際に要求される光学的な選択透過特性の急峻性は従来例に比べて小さな値に設定可能となり、近似演算手段を構成するハー



ドウェアやソフトウェアの規模が低減される。

【0059】したがって、本発明によれば雑音指数の計測誤差が低減され、かつ装置の小型化および低廉化がはかられる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施例を示す図である。

【図2】本実施例における誤差 $\Delta P$ の利得依存性を示す図である。

【図3】本実施例における雑音指数の実測値を示す図である。

【図4】本実施例の計測誤差を示す図である。

【図5】本実施例の効果を示す図である。

【図6】本発明の第二の実施例を示す図である。

【図7】本実施例の入力信号光パワーレベル依存性を示す図である。

【図8】本発明の第三の実施例を示す図である。

【図9】従来の雑音指数計測装置の構成例を示す図である。

【図10】従来例の動作を説明する図である。

【図11】光フィルタの透過率特性を示す図である。

【図12】本実施例の入力信号光パワーレベル依存性を示す図である。

【図13】誤差 $\Delta P$ の利得依存性を示す図である。

【符号の説明】

11 アナログ演算回路

12, 103 演算部

61, 62 半導体レーザ増幅器 (SLA)

63 電流駆動回路

81, 98 ファイバコブラ

82, 102 フォトダイオード

91, 100 レーザダイオード

10 92 伝送ファイバ

93 光増幅器 (EDFA)

94, 106 光フィルタ

95 光増幅器

96 雑音指数計測装置

97, 104 光アイソレータ

99 エルビウム添加ファイバ

101 光フィルタ (OF)

105 ファイバモニタ

107 A/D変換器

20 108 デジタル演算回路

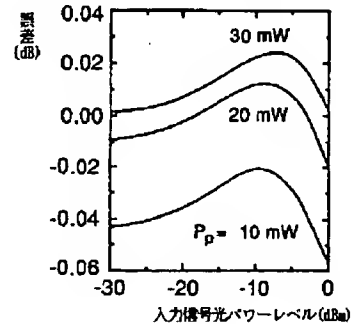
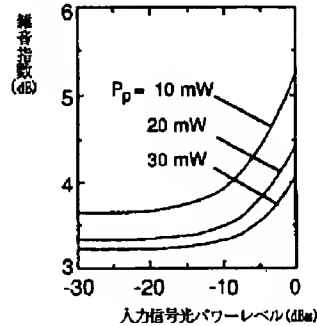
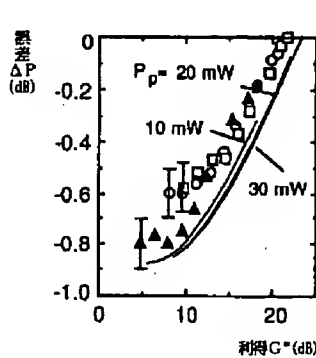
109 D/A変換器

【図2】

【図3】

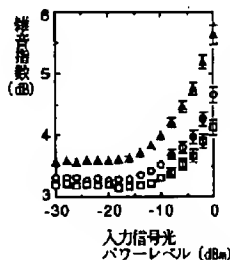
【図4】

本実施例における誤差 $\Delta P$ の利得依存性を示す図 本実施例における雑音指数の実測値を示す図 本実施例の計測誤差を示す図

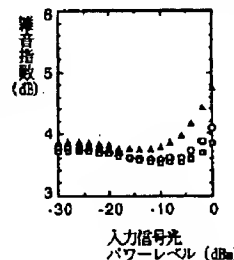


【図5】

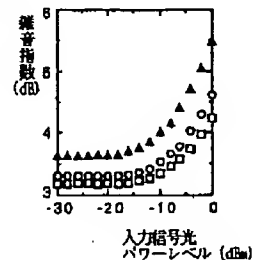
本実施例の効果を示す図



(a) 正確な実測値

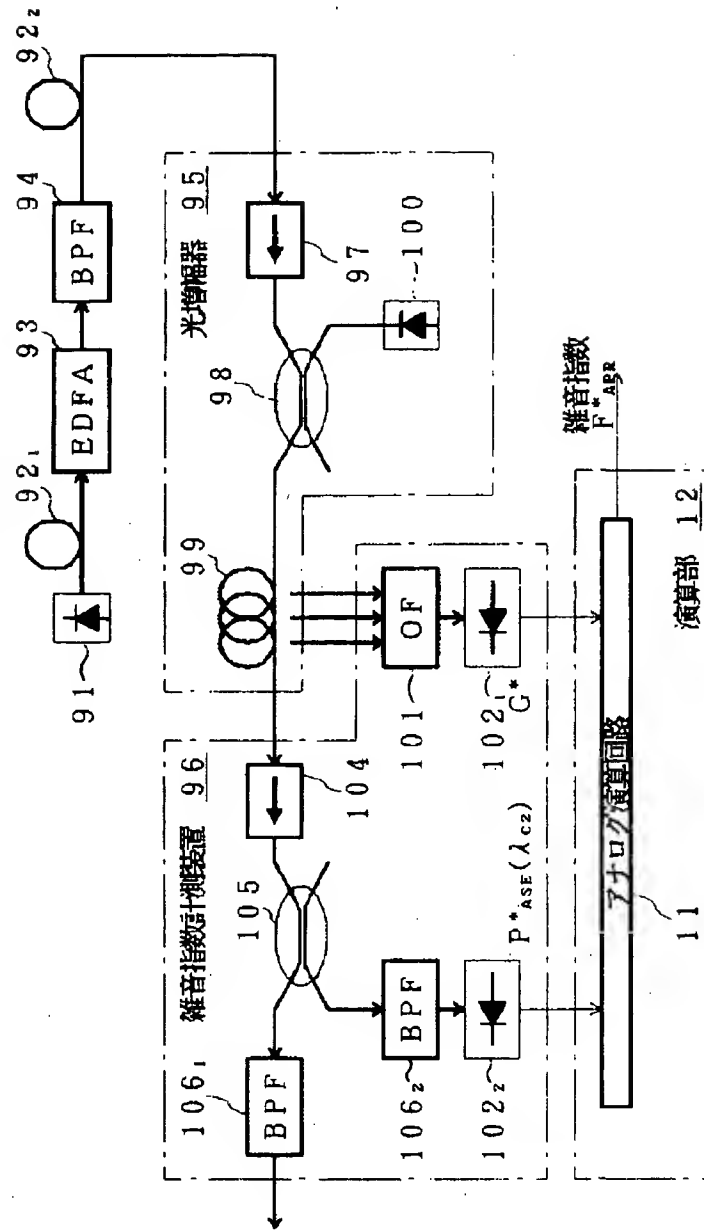


(b) 従来例



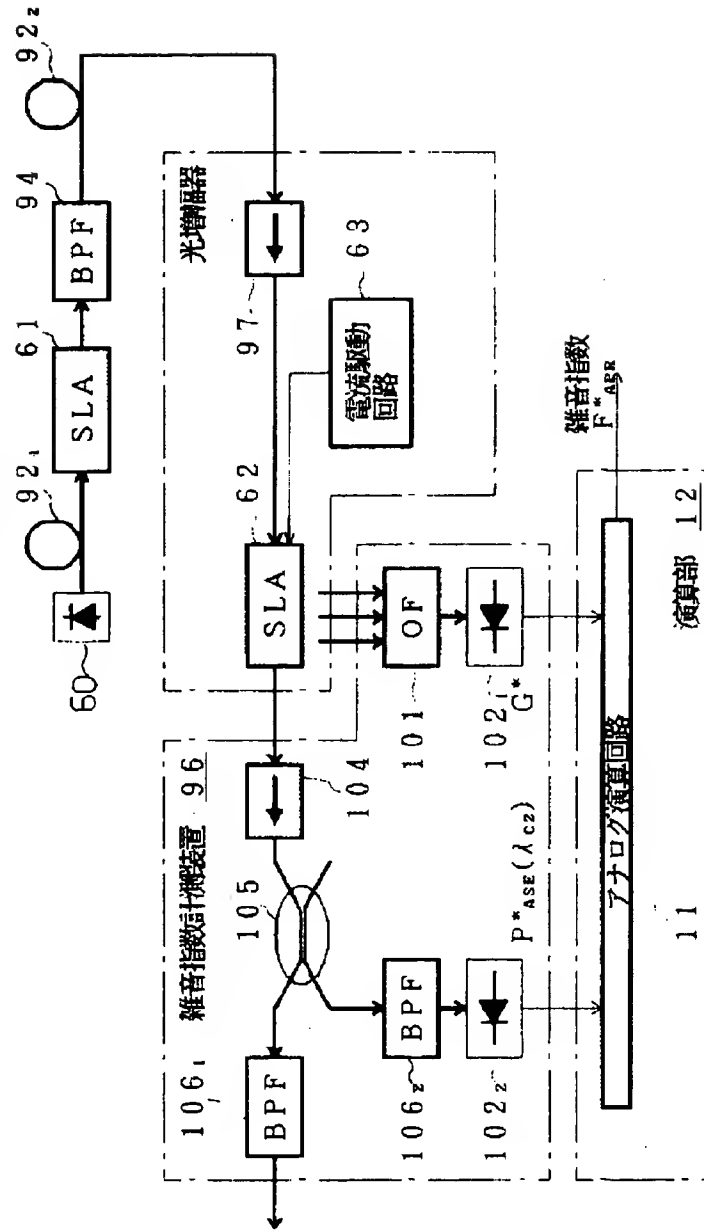
(c) 本実施例

本発明の第一の実施例を示す図



【図6】

本発明の第二の実施例を示す図

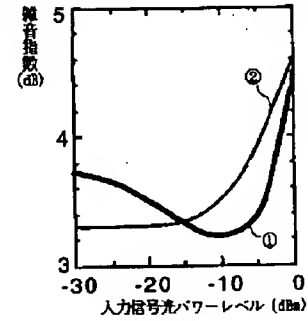
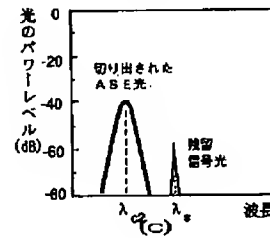
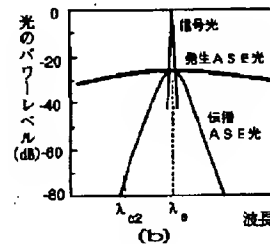
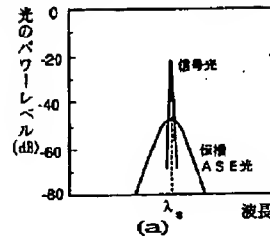
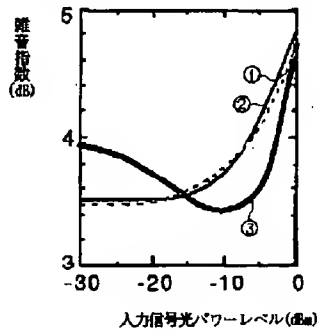


【図7】

【図10】

【図12】

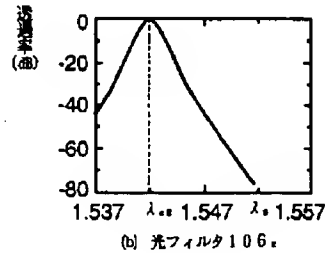
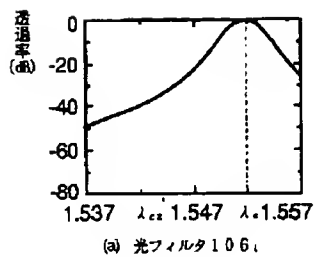
本実施例の入力信号光パワーレベル依存性を示す図 従来例の動作を説明する図 本実施例の入力信号光パワーレベル依存性を示す図



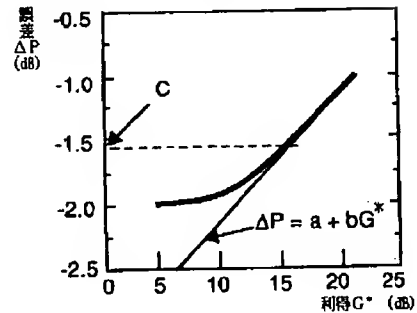
【図11】

【図13】

光フィルタの透過特性を示す図

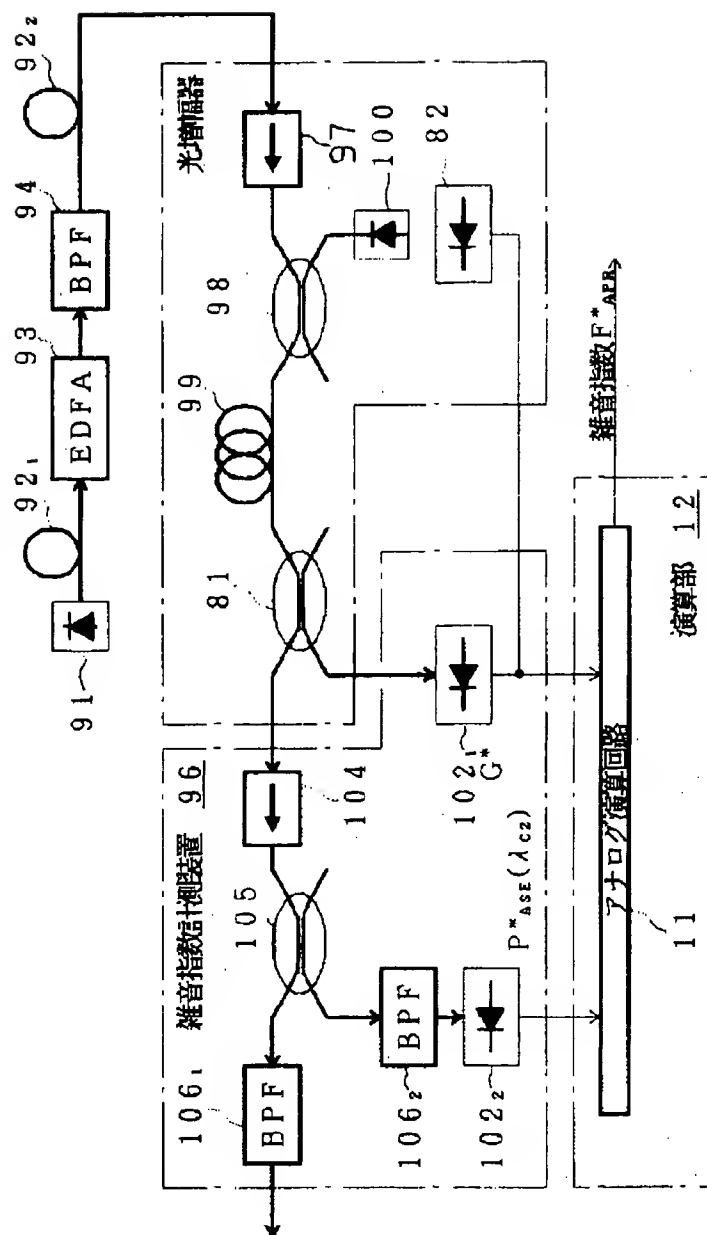


損失差 ΔP の利得依存性を示す図



【図8】

本発明の第三の実施例を示す図



【図9】

従来の雑音指数計測装置の構成例を示す図

